

На правах рукописи



ДРУЖИНИН НИКИТА АЛЕКСАНДРОВИЧ

**МЕТОД НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ОБВОДНЕННОСТИ
АВИАТОПЛИВА ПРИ ТОПЛИВООБЕСПЕЧЕНИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

Специальность 2.9.6 –Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА)

Научный руководитель доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Авиатопливообеспечение и ремонт летательных аппаратов» ФГБОУ ВО МГТУ ГА
Самойленко Василий Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России»
Орешенков Александр Владимирович

кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела двигателей и химмотологии ФГБУ «Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова».
Разносчиков Владимир Валентинович

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина»

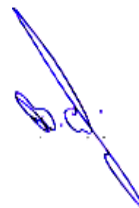
Защита состоится «15» февраля 2023 г. в 16.00 часов на заседании диссертационного совета 42.2.001.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА) по адресу:

125993, г. Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО МГТУ ГА и на сайте ФГБОУ ВО МГТУ ГА www.mstuca.ru.

Автореферат разослан « » 2022 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета 42.2.001.01
доктор технических наук, профессор



В. М. Самойленко

Актуальность темы исследования. Российская Федерация в силу своего географического положения, неравномерности распределения населения нуждается в развитии и использовании гражданской авиации (ГА). Интенсивное использование ГА требует и обеспечения безопасности полетов, которое является важнейшей проблемой. На протяжении всего времени существования авиации, возникало немало различных происшествий, инцидентов, аварий и даже катастроф, по различным причинам.

При решении проблемы безопасности полетов ВС особое внимание сегодня уделяется применению кондиционных авиаГСМ, как одной из составляющих безопасности полетов. От кондиционности применяемых авиаГСМ зависит безотказная работа функциональных системы (топливной, масляной и т.д.) ВС, а от кондиционности применяемого авиатоплива зависит работа топливорегулирующей аппаратуры газотурбинного двигателя. Наличие в авиатопливе различного рода загрязнений таких как, смолы, вода, микроорганизмы и бактерии, механические примеси, не благотворно влияют на работу топливной системы ВС, что снижает безопасность полетов в целом. Такие загрязнения, попав в топливорегулирующую аппаратуру могут приводить к забивке фильтроэлементов и залипанию жиклеров, что может приводить к прекращению подачи авиатоплива в газотурбинный двигатель, а значит и его отключению.

С момента производства на нефтеперерабатывающем заводе до применения на ВС авиатопливо перевозится различными видами транспорта и как следствие многократно перекачивается, а также может храниться в хранилищах, на базах хранения, складах топливозаправочных комплексов (ТЗК). При этом авиатопливо контактирует с внешней средой, где в воздухе содержится влага, насосами, резервуарами и т.д. Это приводит к загрязнению авиатоплива механическими примесями и водой. Суточные колебания температуры приводят к тому, что при охлаждении авиатоплива в нем выделяется эмульсионная вода или нерастворенная.

Согласно требованиям нормативно технической документации (НТД), в частности, ГОСТ 17210-2001 чистота авиатоплива, заправляемого в ВС, должна быть не более 8 класса. Для его обеспечения, согласно рекомендациям международной ассоциации воздушного транспорта (ИАТА), заправка ВС авиатопливом проводится через 1...3 микронные фильтры-мониторы или фильтры-водоотделители с очисткой от механических примесей 0,5 микрон, а отделение свободной воды до уровня не выше 0,0005%(масс).

Поэтому важнейшей задачей работы организаций авиатопливообеспечения (ОАТО) при осуществлении технологического процесса авиатопливообеспечения ВС является сохранение кондиционности авиатоплива, а при отклонении от требований НТД, исправление его кондиционности для достижения нормативного уровня кондиционности авиатоплива, заправляемого в ВС. Это требует от ТЗК соблюдения всех технологических процессов авиатопливообеспечения (транспортировки, слива, хранения, налива в топливозаправщики), а также применения современного оборудования фильтрации и водоотделения, принятию мер по предотвращению попадания влаги в авиатопливо, применения эффективных технологий, а также непрерывного мониторинга уровня чистоты и обводненности авиатоплива на всех этапах авиатопливообеспечения и особенно при заправке в ВС. Это связано с ролью и важностью топливной системы ВС, так она обеспечивает подачу авиатоплива для обеспечения работоспособности газотурбинного двигателя (ГТД), а значит является одной из критических точек в обеспечении безопасности полетов. Можно сказать, что чем более чистое авиатопливо, тем более надежна топливная система ВС, и как следствие, больший ресурс ее функциональных агрегатов и топливорегулирующей аппаратуры ГТД.

Согласно НТД на различных стадиях технологического процесса авиатопливообеспечения ВС осуществляется контроль его качества (входной, складской, аэродромный и т.д.) где производится отбор проб из мест с наибольшей вероятностью присутствия в этих местах воды и механических примесей, а затем производится анализ взятой пробы. Отбор пробы производится дискретно по времени (ежедневно, ежемесячно, после прокачки определенного количества авиатоплива, перед заправкой в ВС и т.д.), т.е. с установленной определенной периодичностью. Можно говорить о том, что контроль проводится не всего объема авиатоплива, а контролируется только в местах и по времени определёнными нормативными требованиями. В этом случае

возникает риск не обнаружения (пропуска) наличия воды или механических примесей в потоке авиатоплива по всему технологическому процессу авиатопливообеспечения ВС.

Таким образом, проблема контроля кондиционности авиатоплива по всему технологическому процессу от приема до его поставки в баки ВС является актуальной для ГА и имеет существенное влияние на обеспечение безопасности полетов ВС и экономику транспортной системы ГА.

Степень разработанности вопроса.

Вопросу обеспечения кондиционности авиатоплива и методов контроля его качества посвящены работы, выполненные сотрудниками научно-исследовательских организаций таких как ФГУП ГосНИИ ГА, ОАО «ВНИИ НП», ЦИАМ им. П.И. Баранова, ФАУ «25 ГНИИ Химмотологии МО РФ», НАУ (КИИГА), ФГБУ ВО «УИ ГА», МАТИ-РГТУ им. К. Э. Циолковского и др. Исследованиями ученых этих и других организаций были выявлены основные факторы, влияющие на кондиционность авиатоплива в процессе его хранения, транспортировки и заправки ВС. Большая часть этих работ была выполнена 90...00 – х годах и не учитывает сегодняшние технологии авиатопливообеспечения ВС, а также возможности применения автоматизации и цифровизации технологического процесса контроля кондиционности авиатоплива.

Вопросам определения воды в авиатопливе и процессам его обезвоживания, а также влияние наличия воды в авиатопливе на безопасность полетов посвящены работы Рыбакова К. В., Орешенкова В. А., Романцова С. В., Смирнова М. С., Сахно Г. И., Яновского Л. С., Галимова Ф. М., Харина А. А., Большакова Г. Ф. и др.

Однако проблема обеспечения безопасности полетов ВС, связанная с необходимостью непрерывного контроля кондиционности авиатоплива и особенно наличия в нем воды и механических примесей не имеет законченного решения. Следовательно, решение научной задачи обеспечения непрерывного контроля кондиционности авиатоплива при его подготовке к применению на ВС в аэропортах ГА имеет актуальное значение.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования – является реализуемый технологический процесс авиатопливообеспечения ВС в аэропортах ГА.

Предмет исследования – процесс контроля уровня свободной воды в авиатопливе при его подготовке к применению на ВС.

Цель исследования: разработка нового научно обоснованного технического и технологического решения контроля кондиционности авиатоплива и его сохранности при выполнении технологического процесса авиатопливообеспечения ВС с применением автоматизированной системы с целью обеспечения безопасности полетов.

Для достижения поставленной цели исследования были поставлены и решены следующие научные задачи:

- анализ процессов попадания воды в авиатопливо на всей технологической цепи системы авиатопливообеспечения от приема до топливных баков ВС;
- обобщение применяемых методов контроля наличия свободной воды в авиатопливе и технологий ее удаления;
- разработка теоретических основ непрерывного мониторинга обводненности авиатоплива в процессе авиатопливообеспечения ВС;
- выбор элементов и расчет узлов автоматизированной системы непрерывного контроля обводненности авиатоплива в процессе авиатопливообеспечения ВС;
- расчет потерь авиатоплива в процессе деятельности организации ОАТО;
- разработка дыхательной системы для снижения степени обводненности авиатоплива и его убыли в процессе деятельности организации ОАТО;
- разработка непрерывного контроля количества воды в авиатопливе с применением автоматизированной системы для выбора алгоритма и стратегии процессов авиатопливообеспечения в зависимости от степени его обводненности.

Методы исследования.

Методы исследования базируются на применении аналитических и экспериментальных методов исследования контроля воды в авиатопливе, способов обезвоживания авиатоплива,

методов авиационной химмотологии, методов математической статистики, методов дисперсионного анализа и общенаучных методов познания.

Научная новизна работы.

1. Исследован механизм попадания свободной воды авиатопливо в процессе авиатопливообеспечения ВС в зависимости от времени года.

2. Установлено влияние параметров обводненности авиатоплива на ресурс фильтроэлементов.

3. Разработана математическая модель предотвращения при предперонной заправке ВС не кондиционным авиатопливом.

4. Впервые проведено теоретическое обоснование и рассчитаны элементы системы непрерывного мониторинга контроля воды в авиатопливе.

5. На основании разработанного устройства определения обводненности авиатоплива предложен способ непрерывного контроля количества воды в авиатопливе и в зависимости от степени его обводненности в автоматическом режиме выбрать алгоритм и стратегию процессов авиатопливообеспечения, использовать правильное сочетание времени отстаивания, тонкости и ступенчатости фильтрации, на который получен патент №2592069 РФ.

Практическая значимость исследования.

1. Проведен расчет экономических затрат при возникновении отказов элементов топливной системы ВС при наличии воды в авиатопливе.

2. Разработано устройство определения количества воды в авиатопливе, позволяющее с высокой степенью точности проводить контроль воды во всем объеме авиатоплива, на который получен патент №122491 РФ.

3. Разработана дыхательная система, позволяющая снизить степень обводненности авиатоплива, его убыль в процессе деятельности ТЗК, а также снизить количество вредных выбросов в окружающую среду.

4. Проведен расчет потерь авиатоплива в процессе деятельности организации ОАТО при «больших и малых дыханиях» резервуаров, что позволяет принимать решение по сокращению естественной убыли авиатоплива.

На защиту выносятся

1. Результаты анализа применяемых методов контроля наличия свободной воды в авиатопливе и технологий ее удаления при авиатопливообеспечении ВС.

2. Математическая модель предотвращения заправки ВС не кондиционным авиатопливом.

3. Результаты расчета потерь авиатоплива в процессе деятельности организации ОАТО при «больших и малых дыханиях» резервуаров.

4. Дыхательная система предотвращения обводненности авиатоплива и его потерь при хранении.

5. Устройство определения количества воды в авиатопливе.

6. Метод непрерывного контроля количества воды в авиатопливе в процессе авиатопливообеспечения ВС.

Достоверность и обоснованность.

Результаты диссертационного исследования получены с применением современных методов и методик, проведении экспериментов на аттестованном оборудовании. Достоверность результатов исследования обеспечивается их близостью с результатами исследования других авторов. Результаты работы прошли государственную экспертизу при получении патентов на способ и устройство определения количества воды в авиатопливе.

Теоретические положения диссертационного исследования базируются на известных достижениях в области авиационной химмотологии, теории вероятностей при обработке полученных экспериментальных данных, а также применением современного математического аппарата.

Апробация работы и публикации.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международной конференции «Авиатопливо 2020», на 3-х научно-технических конференциях Ассоциации организаций авиатопливообеспечения в период 2012-2018гг., при проведении Тренингов с IATA

Fuel Quality Pool в 2018 и 2019 г.г., на научно-технических семинарах на кафедре «Авиатопливообеспечение и ремонт летательных аппаратов» МГТУ ГА.

По материалам работы опубликованы 6 научных статей (49 с), 3 из которых опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России (33 с) (по транспорту), а также в 4 патентах: патент №122491 опубликовано от 27.11. 2012 г., патент №2502069 опубликовано от 20.12. 2013 г., патент № 141654 опубликовано от 26.08. 2015 г., патент № 2563813 опубликован от 29.05.2017.

Личный вклад автора.

Автор разработал методики всех экспериментальных исследований и непосредственно участвовал в их проведении в процессе всего цикла исследований, научно обосновал и разработал устройство определения содержания воды в авиатопливе и с его использованием разработал способ непрерывного мониторинга определения содержания воды в углеводородном авиатопливе от приема из видов транспорта до топливных баков ВС, спланировал и организовал сбор экспериментальной информации по влиянию наличия воды в авиатопливе на безопасность полетов ВС, по оценке ресурса ФЭ в зависимости от времени года, разработал математическую модель предотвращения при предперонной заправке ВС не кондиционным авиатопливом, разработал дыхательную система, позволяющая снизить степень обводненности авиатоплива, а также провел расчет потерь авиатоплива в процессе деятельности организации ОАТО при «больших и малых дыханиях» резервуаров.

Структура и объём диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, перечня сокращений и приложения. Общий объём работы составляет 115 страниц текста. Диссертация содержит 7 таблиц, 38 рисунков, список используемых источников из 109 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении содержится обоснование актуальности научной задачи, формулируются цель работы, ее научная новизна, практическая ценность, а также сведения о реализации и опубликовании результатов работы. Приводятся объём и структура работы. Формулируются вопросы, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ проблем обводненности авиатоплива при выполнении технологического процесса авиатопливообеспечения ВС. Показано, что требования к содержанию воды в авиатопливе устанавливаются требованиями нормативно-технической документации (НТД). При этом эти требования НТД имеют некоторые отличия (таблица 1).

Таблица 1. Требования к содержанию свободной воды по массе в авиатопливе для реактивных двигателей, предъявляемые некоторым зарубежным компаниям и организациям

Компания и организация	Максимально допустимое содержание свободной воды по массе (г) на тонну
Международная организация гражданской авиации (ИКАО)	0,003
Международная ассоциация воздушного транспорта (ИАТА)	0,003
Британская нефтяная компания (BPC)	0,0015
Канадская компания воздушных сообщений (ICAL)	0,003

Однако в процессе транспортировки и хранения авиационного топлива его качество может отличаться от стандартного. В основном это связано с нарушениями условий транспортировки и хранения, а также обусловлено рядом естественных факторов:

- образованием конденсата из насыщенного водой авиатоплива (при колебаниях температуры и влажности окружающего воздуха) (точка росы и др.);
- переходом воды из растворенного состояния в эмульсию, а затем в свободную воду и обратно (при изменении температуры и влажности окружающего воздуха);
- большими и малыми дыханиями во время циклического опорожнения - наполнения резервуара в процессе хранения (перекачки и выдачи авиатоплива).

Проведенный анализ методов контроля содержания воды в авиатопливе показывает, что в гражданской авиации предъявляются специфические требования к применяемым средствам контроля с точки зрения чувствительности, точности и воспроизводимости результатов.

Из проведенного анализа требований НТД к наличию воды в авиатопливе и применяемых методов ее контроля видно, что выполняется только визуальный и индикаторный контроль наличия воды в авиатопливе, что не обеспечивает его кондиционности при применении в ВС. Применяемые методы контроля обводненности авиатоплива не позволяют проводить непрерывный мониторинг наличия воды, так как анализ проводится только по пробе, отобранной из определенной точки (дискретно) топливопровода, резервуара, топливозаправщика и т.д., т.е. на предмет обводненности контролируется не весь объем авиатоплива. Следовательно, задача разработки метода контроля обводненности авиатоплива является актуальной.

Наличие в топливе воды, механических примесей, смол, микроорганизмов, различных смол и примесей, может не благоприятно сказаться на работоспособность топливной системы ВС, а следовательно, привести к снижению безопасности полетов в целом. С целью оценки влияния на безопасность полетов качества применяемого авиатоплива автором проведен анализ статистических данных инцидентов, связанных с обеспечением кондиционности авиатоплива (наличие воды и механических примесей). Как видно из рисунка 1 количество инцидентов по наличию воды и механических примесей составляет около 45 % (21 событие). Из этих событий из дальнейшего анализа исключили события, связанные с авиационными смазками и повреждения ВС на земле от столкновения с топливозаправщиком.

Проведенный в работе анализ статистики за 2011 – 2019 гг. инцидентов лётных происшествий с ВС, связанных с применением авиаГСМ, подтверждает актуальность проблемы влияния отказов топливной системы ВС на безотказность полетов. По результатам исследования причин отказов топливорегулирующей аппаратуры, проведенных в ГосНИИ ГА, ФАУ "25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России", ЦНИИ ВВС МО РФ (г. Люберцы), установлены как конструкционные, так и эксплуатационные факторы отрицательного влияния наличия воды, водной эмульсии или кристаллов льда на работоспособность топливной системы ВС (рис. 2).

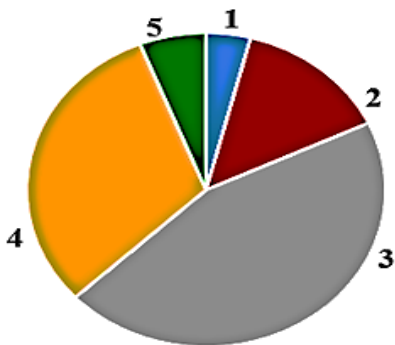


Рисунок 1. – Статистика инцидентов, связанных с применением не кондиционных авиаГСМ с 2011 по 2019 годы: 1) - с авиационными смазками; 2) - заправка некондиционным топливом; 3) наличие в топливе механических примесей и воды; 4) - засорение топливных фильтров; 5) - повреждения ВС на земле ТЗ

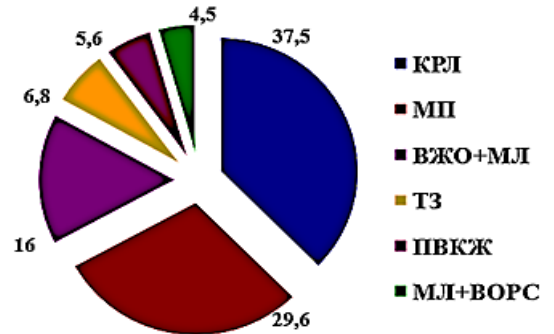


Рисунок 2 – Основные факторы некондиционности авиатоплива в эксплуатации: КРЛ - кристаллы льда; МП - механические примеси; ВЖО + МП – водные жидкофазные осадки и механические примеси; ТЗ – неисправности топливозаправщиков; ПВКЖ – недостаточное количество жидкости «И» в топливе; МП+ ВОРС – механические примеси и ворс

Из анализа статистических данных видно, что половина всех рассмотренных событий, связанных с работоспособностью топливной системой ВС связана с наличием свободной воды и образовавшихся в результате этого кристаллов льда в авиатопливе, а также нахождении воды в виде эмульсии.

Основываясь на анализе статистических данных и всего процесса топливообеспечения ВС можно сделать вывод, что для повышения безопасности полетов и обеспечения непрерывного

мониторинга обводненности авиатоплива необходима разработка и внедрение автоматизированного непрерывного контроля наличия воды в авиатопливе.

Во второй главе проведены теоретические исследования кинетики накопления воды в авиатопливе при его подготовке и хранении и проведен расчет ее накопления в зависимости от сезона, а также возможных последствий при применении некондиционного авиатоплива.

Наличие свободной (несвязанной) воды в авиатопливе является одним из опасных его загрязнений. С целью уменьшения попадания воды в авиатопливо и ее влияния на его качество проведем анализ возможных путей попадания воды в авиатопливо в процессе авиатопливообеспечения ВС.

Рассмотрим функциональную деятельность ТЗК на примере аэропорта Внуково. Концентрация воды в авиатопливе зависит от периода года, о чем свидетельствуют результаты многолетних наблюдений в ТЗК. На их анализе составим таблицу наличия воды в резервуарах и топливозаправщиках в зависимости от периода года (таблица 2).

Таблица 2. Содержание воды в авиатопливе ТС-1 в зависимости от периода года.

№ п/п	Период	В резервуарах, %	В топливозаправщике, %
1	Зима	0,001...0,007	0,001...0,0074
2	Весна	0,0013...0,0071	0,001...0,0053
3	Лето	0,0021...0,017	0,0018...0,0089
4	Осень	0,001...0,0059	0,001...0,0091

Как видно, наибольшее количество воды в авиатопливо попадает при увеличении температуры и влажности окружающей среды в короткий срок. В этом случае авиатопливо не успевает прогреться. Кроме того, в данный период обводненность авиатоплива превышает нормируемые показатели, а значит возникает риск безопасности полетов.

Для восстановления качества авиатоплива наиболее доступным и эффективным средством является его фильтрация, которая позволяет удалить механические загрязнения и воду. Процессы фильтрации авиатоплива широко применяют в процессе его движения: нефтебаза – склад (транспортное средство) – аэропорт (ТЗК) – топливная система воздушного судна. Для тонкой очистки авиатоплив в аэродромных системах авиатопливообеспечения используются микрофильтры. Как правило, микрофильтры встраиваются в системы подачи авиатоплива для разгрузки фильтров-водоотделителей, когда высокое содержание твердых частиц в авиатопливе может привести к быстрой забивке фильтров-водоотделителей (рис. 3).



Рисунок 3 – Забивка фильтров-водоотделителей

При заправке ВС кондиционным авиатопливом, согласно НТД, в нем содержится до 0,01 % воды. С увеличением высоты полета и понижении давления и температуры, растворимость воды в авиатопливе резко снижается – до 0,001 % при 0 °С. Таким образом, из одной тонны авиатоплива может выделиться 50...60 грамм воды, и при сбое обогрева фильтроэлементов или противоводокристаллизационной жидкости, т.е. возникновения нештатной ситуации, этого будет достаточно, чтобы засорить фильтроэлементы.

С целью определения возможного ущерба от применения некондиционного авиатоплива проведем усредненный расчет. Для проведения расчета в работе был проведен анализ возникающих в эксплуатации возможных отказов агрегатов ВС по причине наличия воды в авиатопливе. Расчет проводили с учетом стоимости самого агрегата и стоимости работы при выполнении замены агрегата. Сводные данные стоимости приведены в таблице 3.

Расчет проводили также из условия, что засорение топливных фильтроэлементов кристаллами льда может привести к потере тяги двигателя и в этом случае необходимо заменить топливный элемент при его повреждении. Забивка фильтроэлементов кристаллами льда может также привести

и к выходу из строя перекачивающего насоса, а в последствии и к выключению двигателя. То в этом случае необходимо заменить как топливный фильтр, так и насос, что увеличивает затраты.

Таблица 3. Примерная стоимость агрегатов и работ по их замене

Неисправность	Причина	Стоимость, руб.
Заклинивание обратного клапана	Коррозия	69 000
Забивка топливного фильтра (Ту-154)	Лед	35 000
Забивка топливных фильтров (2 шт) (ATR 42–500)	Лед	78 000
Выход из строя топливомера (Boeing 737)	Вода	920 000
Топливный насос (Boeing 737)	Вода	238 000

Возникновение нештатных ситуаций приводит к снижению безопасности полетов, а следовательно, необходимости разработки мероприятий по контролю наличия воды в авиатопливе.

Третья глава посвящена разработке математической модели предотвращения заправки ВС не кондиционным авиатопливом и теоретическому обоснованию выбора системы непрерывного мониторинга обводненности авиатоплива при авиатопливообеспечении полетов ВС.

Анализ системы очистки авиатоплива показывает, что фильтры водоотделители являются техническими средствами конечной очистки авиатоплива от воды перед заправкой ВС. Их состояние можно взять как показатель кондиционности заправляемого авиатоплива по содержанию воды в нем. Техническое состояние фильтров водоотделителей можно охарактеризовать двумя параметрами – расход топлива Q и изменение перепада давления ΔP в процессе эксплуатации. Данные характеристики указываются в документации завода-изготовителя на фильтры водоотделители. Предположив допущение, что в процессе очистки авиатоплива от воды может возникнуть вероятность разности данных параметров между полем допуска параметров, находящимся в зоне нормативной документации и полем значений параметров, выходящим за ее пределы. Выход данных за поле допуска будет свидетельствовать о показателе качества заправляемого авиатоплива, а значит принять решение о заправке ВС.

Состояние фильтров водоотделителей можно описать с помощью математических зависимостей, внесенных в цифровой контролер с функцией выработки алгоритмов и команд на прекращение выдачи авиатоплива в АТЗ или остановки заправки ВС. Изменение полей допусков параметров фильтра водоотделителя можно представить в виде детерминированного процесса его работы в поле допусков и недетерминированного случайного процесса при выходе за пределы с назначением границы для прекращения выдачи или заправки авиатоплива.

Используя статические данные по работе фильтра водоотделителя, представим зависимость изменения перепада давления ΔP от расхода топлива Q , взятом их технической документации завода-изготовителя для математического анализа. Поле допуска представляется множеством кривых, а процессы очистки авиатоплива от воды, находящимися в поле допуска, можно отнести к детерминированным процессам, которые можно описать с помощью математических зависимостей. Для этого применим метод линейной аппроксимации, с помощью которой можно исследовать числовые характеристики и качественные свойства исследуемого объекта (рис. 4).

На основании данных технической документации поле допуска нормальной работы фильтра водоотделителя будет лежать в области предельных значений, обозначенных точками a

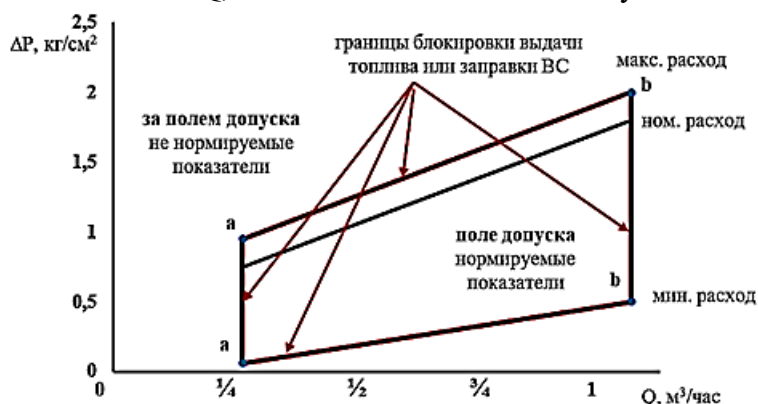


Рисунок 4 – Зависимость предельно допустимого перепада давления ΔP от расхода авиатоплива Q

и b (рис. 4), которые описываются линейным уравнением. Верхнее значение поля допуска будет составлять $0,95...2,0$, а нижнее – $0,06...0,3$ кг/см².

В процессе эксплуатации эти значения могут принимать любые значения в поле допуска, то для программирования контроллера пункта налива или склада ГСМ применим уравнения линейной функции и представим в виде:

$$\gamma = \alpha \cdot x + b \quad (1),$$

Решение данного уравнения будет состоять в нахождении коэффициентов уравнения – a и b , значения которых приближали определяемые значения точек поля допуска наиболее близко к аппроксимирующей прямой.

Для отыскания указанных коэффициентов применим метод наименьших квадратов, суть которого состоит в том, что сумма квадратов отклонений искомого значения точки от аппроксимирующей линии будет иметь минимальное значение, тогда:

$$F(\alpha, b) = \sum_{i=1}^n (\gamma_i - (\alpha \cdot x + b))^2 \rightarrow \min \quad (2).$$

Решение задачи состоит в поиске экстремума данной функции двух переменных.

Из рисунка 4 видно, что искомые точки a и b находятся в поле допуска, следовательно, решение интегральной функции 1 и 2 можно свести к выражению:

$$\int_{\alpha}^{\beta} f(x) dx \quad (3),$$

где: α и β пределы интегрирования.

Полученный массив данных положен в основу программного обеспечения по ограничению перепада давления в поле допуска и как только значение перепада давления и расхода превысят предельное значение, то поступит сигнал на блокировку выдачи авиатоплива или заправку ВС.

Представленный расчет характеристик фильтра водоотделителя позволяет произвести оптимизацию режима его ресурса (замены) до 20...25 % от максимального значения расхода фильтроэлемента.

При проведении технологического процесса авиатопливообеспечения ВС в силу изменения различных факторов, как субъективных, так и объективных, показатели характеристик фильтра водоотделителя могут выходить за поле допуска этих значений. Можно сказать, что фильтроэлемент в этом случае будет работать в недетерминированных или стохастических (случайных) условиях. Этот режим работы можно описать с помощью стохастической матрицы и введем в программу для выполнения расчета (рис. 5).

Для расчета используем Марковские цепи, где стохастическая матрица представляется матрицей переходных вероятностей как отправная точка теории случайных процессов. Тогда матрица $P = (P_{ij})$, где i и $j = 1, 2 \dots$ является стохастической и ее можно задать:

$$P_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j = 1, 2 \dots \quad \text{и} \quad \sum_{j=1}^{\infty} P_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (4),$$

где: \forall - математический знак For All (рус. для всех).

Из данного выражения можно найти дискриминант алгебраического числового поля допуска и его числовое значение, свойство которого является изменять размер алгебраического числового поля. Это свойство применим для формирования управляющего сигнала фильтроэлементом с обратным знаком.

Полученные данные математического обеспечения загружаются цифровой контролер с целью контроля за состоянием фильтроэлементов. В случае смены фильтроэлемента необходимо произвести сравнение эксплуатационных характеристик из технической документации и данных в программном обеспечении и при наличии расхождения провести корректировку данных. Если

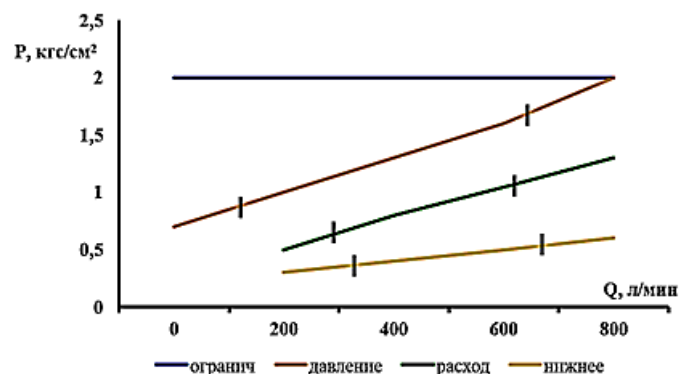


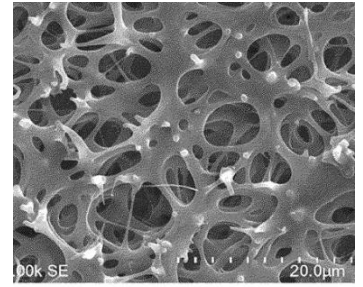
Рисунок 5 – Расчет характеристик фильтроэлементов фильтра водоотделителя в условиях работы за полем допуска

данные в программном обеспечении будут введены не корректно, то и система блокировки от выдачи некондиционного авиатоплива будет работать не корректно. Такую корректировку данных в цифровом контролере можно проводить с помощью современных USB-технологий.

Таким образом, при выходе показателей кондиционности авиатоплива за поле допуска фильтров водоотделителей в момент выдачи из склада ГСМ в АТЗ или в момент предперонной заправки ВС являются критичным фактором, то применение предлагаемой математической модели процесса работы фильтроэлемента в поле допусков, позволяет сформировать цифровым котроллером «барьерный» сигнал на прекращение выдачи авиатоплива или заправки им ВС, что позволит повысить вероятность не попадания воды вместе с авиатопливом в топливные баки ВС.

В качестве основного метода обезвоживания авиатоплива применяют фильтры – водоотделители. Как правило конструктивно они выполнены из коалирующей перегородки, на которой происходит коалесценция микрокапель воды. Для коагуляции капель воды надевают чехол из хлопчатобумажной ткани на наружную поверхность коагулирующей перегородки. Вторая ступень такого фильтра – водоотделители является гидрофобной (водоотталкивающая), на которой происходит отделение от топлива и вывод в дренажную ступень фильтра - водоотделителя укрупнившихся капель эмульсионной воды. Такая конструкция фильтроэлемента является объемной и имеет множество пороговых каналов, размеры которых достаточно произвольны. Применение таких материалов в конструкции фильтра – водоотделителя ограничивает его ресурс и эффективность обезвоживания авиатоплива.

Для повышения эффективности обезвоживания авиатоплива в работе был проведен анализ выбора материала с высокой гидрофобностью для использования в конструкции монитора определения воды в авиатопливе. В качестве такого материала выбран поливинилформаль - полимерный материал, обладающий трехмерной ячеистой структурой (рис. 3.6) и высокой гидрофильностью полимерной основы.



20.0 мкм

Рисунок 6 – Структура поливинилформалья

Поливинилформаль имеет пористую структуру и гидрофильность полимера, что позволяет ему иметь высокую водопоглощающую способность (вплоть до 98% об и более 700% масс). Также он имеет уникальные физические свойства, состоящие в том, что во влажном состоянии он становится мягким и эластичным, а при освобождении от воды восстанавливает исходную – жесткую форму. Т.е. при поглощении воды поливинилформаль увеличивает свои размеры. Для ограничения размеров поливинилформалья предлагается использовать опорную сетку. Для повышения эффективности обезвоживания авиатоплива целесообразно в каскад фильтрации установить коагулятор. Пористая ячеистая структура поливинилформалья позволяет создать объемный режим фильтрации авиатоплива, что усиливает эффективность очистки. Схематическая конструкция предлагаемой ступени фильтрации для обезвоживания авиатоплива приставлена на рисунке 7.

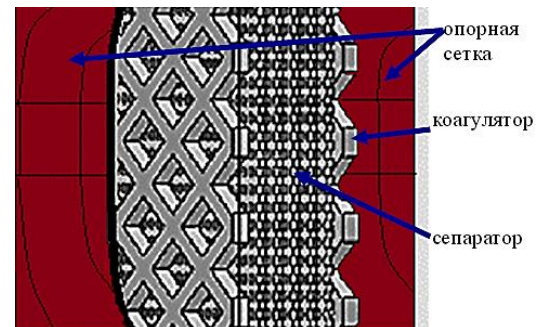


Рисунок 7 – Схема конструкции ступени водоотделителя

Однако при увеличении сопротивления в такой конструкции могут возникать завихрения потока авиатоплива. В работе на стенде было проведено испытание такой конструкции ступени водоотделителя для определения гидравлического сопротивления такого пакета фильтрации. Было установлено, что гидравлическое сопротивление предлагаемой конструкции находится на уровне гидравлического сопротивления применяемых в авиатопливообеспечении сетчатых фильтроэлементов.

Для проведения численного моделирования конструкции ступени водоотделения была использована программа МастерSCADA - программный продукт компании ИнСАТ. Как было

отмечено, поливинилформаль имеет сложную структуру. Поэтому для расчета при построении модели конструкции ступени было принято допущение, что его ячейка имеет форму шестигранника. Проведенное в работе численное моделирование ступени разрабатываемого мониторинга обводненности авиатоплива позволило визуализировать течение авиатоплива в объемной структуре поливинилформалья (рис. 8, а) и иметь представление о распределении давления авиатоплива при протекании через предлагаемую конструкцию ступени фильтрации (рис. 8, б).

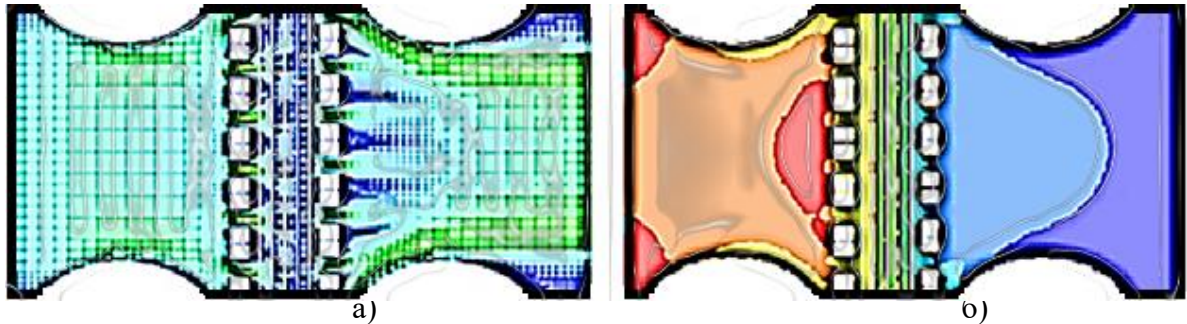


Рисунок 8 – Результаты компьютерного моделирования при прохождении авиатоплива через ступень фильтрации: а) - распределение скорости; б) - распределение давления

С целью оценки адекватности компьютерной модели расчета характеристики ступени фильтрации разрабатываемого мониторинга обводненности авиатоплива на график экспериментальных значений характеристики ступени фильтроэлемента, были нанесены точки, полученные расчетным путем (рис. 9). Относительная погрешность проведенных в работе расчетных значений составляет не больше 13 % от полученных экспериментальных. Это можно объяснить тем, что в расчетной модели сделано допущение и рассматривается конструкция ступени фильтрации в упрощенном виде – в виде шестигранника.

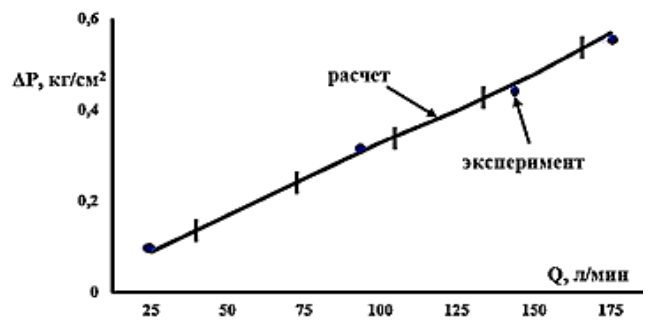


Рисунок 9 – Гидравлическая характеристика ступени фильтрации, полученная экспериментальным и расчетным путем

Из проведенного в работе исследования численного моделирования ступени разрабатываемого мониторинга обводненности авиатоплива можно сказать, что расчетная модель достаточно точно отображает процессы, которые происходят при протекании авиатоплива через объемный элемент предлагаемой конструкции с применением поливинилформалья, имеющего трехмерную ячеистую структуру.

Четвертая глава посвящена разработке метода непрерывного контроля обводненности авиатоплива при топливообеспечении ВС.

Задачей работы организаций авиатопливообеспечения при выполнении технологических процессов топливообеспечения ВС является сохранение кондиционности авиатоплива, доведения до кондиций согласно требованиям нормативной документации и обеспечения качества заправки ВС. Опыт применения авиатоплива свидетельствует, что в процессе транспортировки и хранения происходит его загрязнение. Т.е. требуется постоянный контроль качества авиатоплива в процессе его непосредственного применения и хранения.

В работе предлагается техническое решение для осуществления непрерывного контроля обводненности авиатоплива.

Для поиска технологического решения, поставленного в работе, был проведен анализ применяемых устройств и методов обнаружения и удаления воды из авиатоплива. Проведенный анализ показал, что предлагаемые методы контроля количества воды в авиатопливе достаточно

сложны и требуют в системе фильтрации устанавливать дополнительно фильтры – сепараторы для удаления воды. Рекомендуемая ИАТА система фильтрации представлена на рисунке 10.

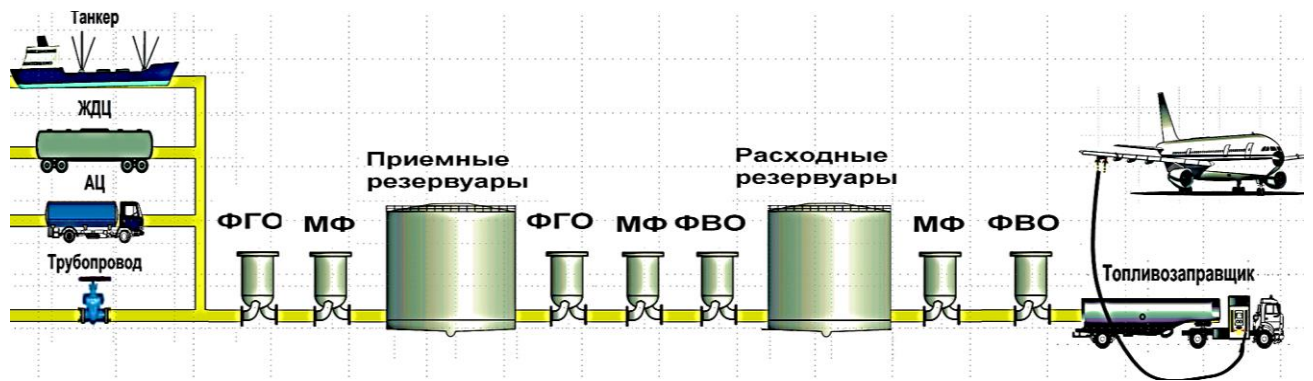


Рисунок 10 – Рекомендуемая ИАТА схема фильтрации авиатоплива при его выдаче в ТЗ

Автором предлагается решать задачу контроля количества воды в авиатопливе с совмещением задачи по ее удалению из авиатоплива и мониторинга состояния водоотделителя.

Для решения проблемы определения количества воды необходимо выбрать материал, который бы не взаимодействовал с углеродным авиатопливом и хорошо бы поглощал влагу, находящуюся в авиатопливе. Исходя из физико-химических свойств пригодных для поглощения воды в нефтепродуктах в качестве такого материала был выбран поливинилформаль (рис. 6).

Пористый поливинилформаль – это полимерный материал. Как видно на рисунке 6 он имеет ячеистую структуру и обладает высокой влагопоглощающей способностью. Пористая структура позволяет ему поглощать влагу до 98% об. За счет таких свойств поливинилформаль в полостях пористой трехмерной структуры накапливает влагу и коагулирует (укрупняет) капли воды. До взаимодействия с водой поливинилформаль имеет стекловидную, жесткую структуру, а при поглощении воды переходит в эластичное состояние. После высыхания приобретает исходную стеклообразную структуру.

Количество поглощенной воды можно определить как отношение масс до поглощения воды и с поглощенной водой:

$$K = n / m \quad (5),$$

где, n – масса поглощенной воды образцом, в граммах;

m – масса образца, в граммах;

K – коэффициент поглощающей способности.

Изменение свойств поливинилформалья при поглощении воды, и как следствие размеров, приводит к изменению гидравлического сопротивления, в зависимости от количества поглощённой воды. На этой основе построен принцип предлагаемого устройства (рис. 11).

Предлагаемое устройство определения количества воды в авиатопливе состоит из корпуса (1), выполненного из нержавеющей стали. В корпусе размещаются фильтры – сепараторы, состоящие из сепарирующей (2) и опорной (4) сеток и коагулятора (3) из пористого поливинилформалья (рис. 4.4). Сепарирующая и опорная сетки соединяются между собой, а между ними

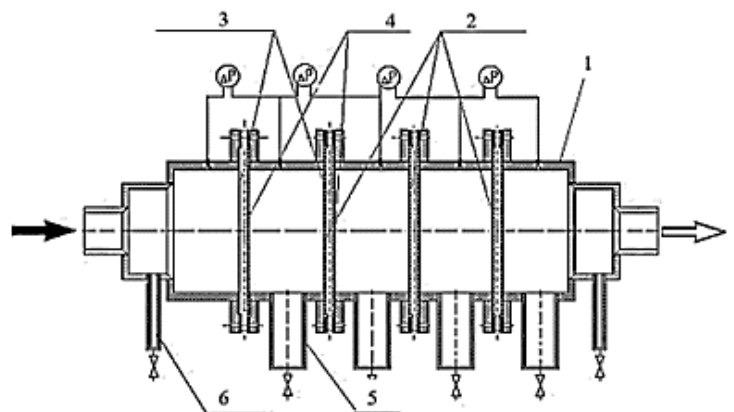


Рисунок 11 - Схема устройства определения и контроля количества воды в авиатопливе: 1 – корпус; 2 – сепаратор; 3 – коагулятор; 4 – опорная сетка; 5 – сливные отводы воды; 6 – отвод пробоотборника

зажимается коагулятор. В корпусе выполнены сливные отводы (5), а также предусмотрен пробоотборник (6). Пористые перегородки на корпусе устанавливаются с помощью узлов крепления, что позволяет производить их замену. Сетки могут быть выполнены из полимерных или металлических материалов плотностью 40...1300 г/м² и толщиной 1...80 мм, или полимерного нетканого материала.

Поток топлива проходит через несколько поочередно установленных водоотделяющих ячеек из поливинилформалия, который задерживает капли воды, а авиатопливо проходит дальше. Как видно из рисунка 11 каждая такая ячейка является как-бы самостоятельным фильтром – сепаратором. Задержанные пористой перегородкой поливинилформалия мелкие капли эмульгированной воды коагулируют, становятся крупными и под действием силы тяжести стекают вниз. Впитанную воду на таком сепарирующем фильтре отводят в водоотстойник. Так как после насыщения водой поливинилформаль увеличивается в размерах, то для ограничения пределов увеличения диаметров пористых каналов его помещают в каркас, выполненный из нетканого полотна. В результате насыщения водой происходит сужение пористых каналов поливинилформалия, и как результат – повышению гидросопротивления потоку авиатоплива. Изменение давления потока авиатоплива фиксируется датчиками давления. Для замера перепада давления на ступени устройства датчики устанавливаются по обе ее стороны с фильтрами – сепараторами. Замеренный таким образом перепад давления передается в блок управления (рис. 12), где происходит определение гидравлического сопротивления, меняющегося с течением времени от количества поглощенной воды.

Зная гидравлическое сопротивление установленных в устройство перегородок из поливинилформалия от количества поглощенной ими водой, можно с помощью математической зависимости определить количество воды в каждой перегородке, а значит и общее количество воды в авиатопливе за установленный промежуток времени.

С целью определения процентного количества свободной воды в авиатопливе необходимо провести тарировку установленных датчиков давления. Для проведения тарировки датчиков подготавливают водотопливную эмульсию с установленным объемом воды в авиатопливе и ее процентным содержанием. Водотопливную эмульсию прокачивают через пары датчиков, установленных по обе стороны перегородок с фильтрами – сепараторами и определяют давления на этих датчиках. Проведя измерение перепада давления на перегородке на текущий момент, можно составить математический массив данных соотношения перепада давления от количества воды. После чего данный массив заносится в аналитический блок (рис.12) регистрации и уже в реальном времени сопоставляется с регистрируемым перепадом давления потока авиатоплива. Это с высокой точностью позволяет определять количество воды в непрерывном промежутке времени технологического процесса авиатопливообеспечения ВС.

Такой подход к определению количества воды в авиатопливе позволяет данным устройством определить и общее количество воды за установленный промежуток времени. Устройство позволяет определить общее количество воды в авиатопливе двумя способами. Первый – произвести суммирование всей воды, слитой в отстойниках и учесть воду, которая находится еще и в перегородке из поливинилформалия. Второй – после замера текущего перепада давления на каждой ступени за определенный промежуток времени сопоставить его с показаниями, полученными после тарировки датчиков.

Последовательно установленные перегородки (рис. 11) свидетельствуют о том, что большинства воды и механических загрязнений будут собираться на первой и с уменьшением на последующих перегородках, а значит на ней будет первым достигать предельное значение

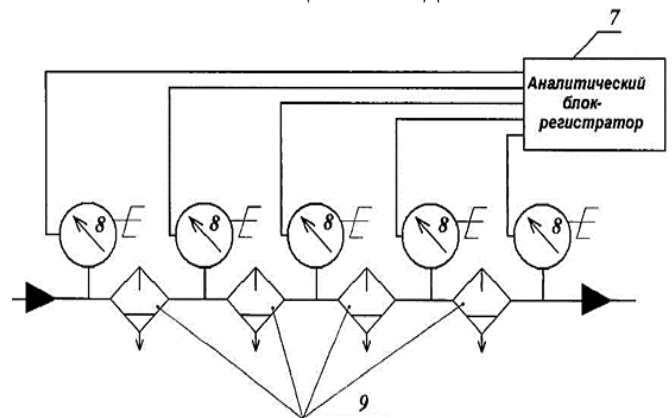


Рисунок 12 – Схема блока управления для вычисления гидравлического сопротивления

перепада давления. В этом случае аналитический блок – регистратор будет регистрировать сигнал, что перегорodka работает в режиме коагуляции частиц воды. При достижении предельного перепада давления поток авиатоплива переключается на дублирующий фильтр водоотделитель. Заполненную водой перегорodka можно заменить или произвести регенерацию. Регенерация свойств пористой перегорodka происходит путем пропускания через нее потока авиатоплива, в котором нет эмульгированной воды. В этом случае имеющаяся в ступени устройства вода переходит в авиатопливо в молекулярном (растворенном) состоянии (ниже 0,001 % по массе). В результате будет происходить так называемая «осушка» перегорodka. Такой процесс позволяет привести перегорodka в исходное состояние для дальнейшего использования.

Использование предлагаемого устройства позволяет решать сразу несколько задач: определить количественный уровень обводненности потока авиатоплива в данный момент времени за счет измерения гидросопротивления установленных перегорodka; выполнить очистку авиатоплива от воды; производить оценку состояния перегорodka в каждый момент времени. Имея одно устройство позволяет упростить его техническое обслуживание.

Представленная на рисунке 12 схема аналитического блока управления может быть подсоединена к компьютеру с вводом в него математического массива данных перепада давления на пористых перегорodka, что позволяет реализовать программный алгоритм и реализовать, таким образом, систему непрерывного мониторинга определения количества воды в авиатопливе (рис. 13).

В работе проведен анализ возможной установки предлагаемого устройства в технологическую цепочку выполнения задач ТЗК (рис. 14).

Включение предлагаемой системы контроля обводненности авиатоплива дает возможность принимать решение о допуске авиатоплива к заправке ВС, на основе сведения о его кондиционности в режиме реального времени. Кроме определения обводненности авиатоплива в реальном режиме времени на других этапах технологического процесса, система позволяет определять эффективность применяемого оборудования и системы фильтрации авиатоплива, за счет

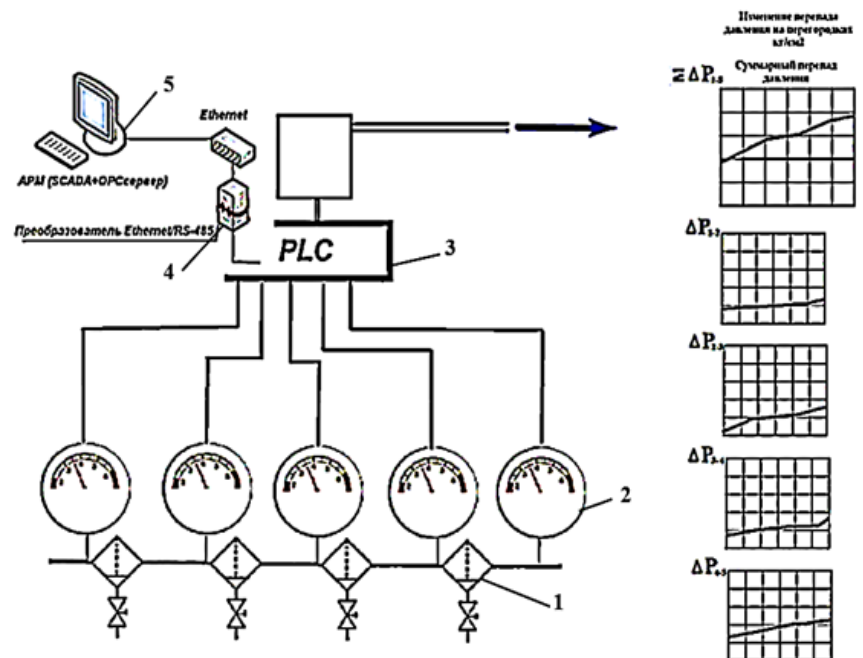


Рисунок 13 – Схема мониторинга определения количества воды в авиатопливе: 1 – водоотделитель; 2 – датчики давления; 3 – программный логистический контроллер (PLC); 4 – преобразователь; 5 – компьютер

сочетания с математической моделью состояния фильтроэлементов. Применение информационно-управляющей системы в ТЗК дает возможность в онлайн режиме иметь объективные данные о кондиционности авиатоплива на всех этапах авиатопливообеспечения ВС.

Применение автоматизации и информативности в предлагаемой схеме дает возможность интегрировать данную систему в применяемые системы и серверы в передовых аэропортах такие, как например: GroundStar (GS) – комплекс программных продуктов, автоматизирующих операционную деятельность аэропорта; RMS – Resource Management System - система управления ресурсами; AFMS-Aircraft Fueling Information System -информационная система для управления заправочными операциями ВС; CoTAS-Computer Terminal Automation System- для управления производственными процессами ТЗК.

Таким образом, разработанная в работе система мониторинга кондиционности авиатоплива позволяет осуществлять контроль наличия воды во всем потоке авиатоплива, в отличие от применяемых дискретных (ежесуточные, ежемесячные и т.д.) и точечных методов (отстойных зон, нижних точек), что не в полной мере обеспечивает заправку ВС кондиционным авиатопливом. Кроме того, система позволяет определять количество воды по двум показателям – весу и процентному содержанию. Применяемые же методы (глава 1) являются в основном визуальными и не имеют требуемой чувствительности, что является сугубо субъективным фактором при определении воды в авиатопливе.

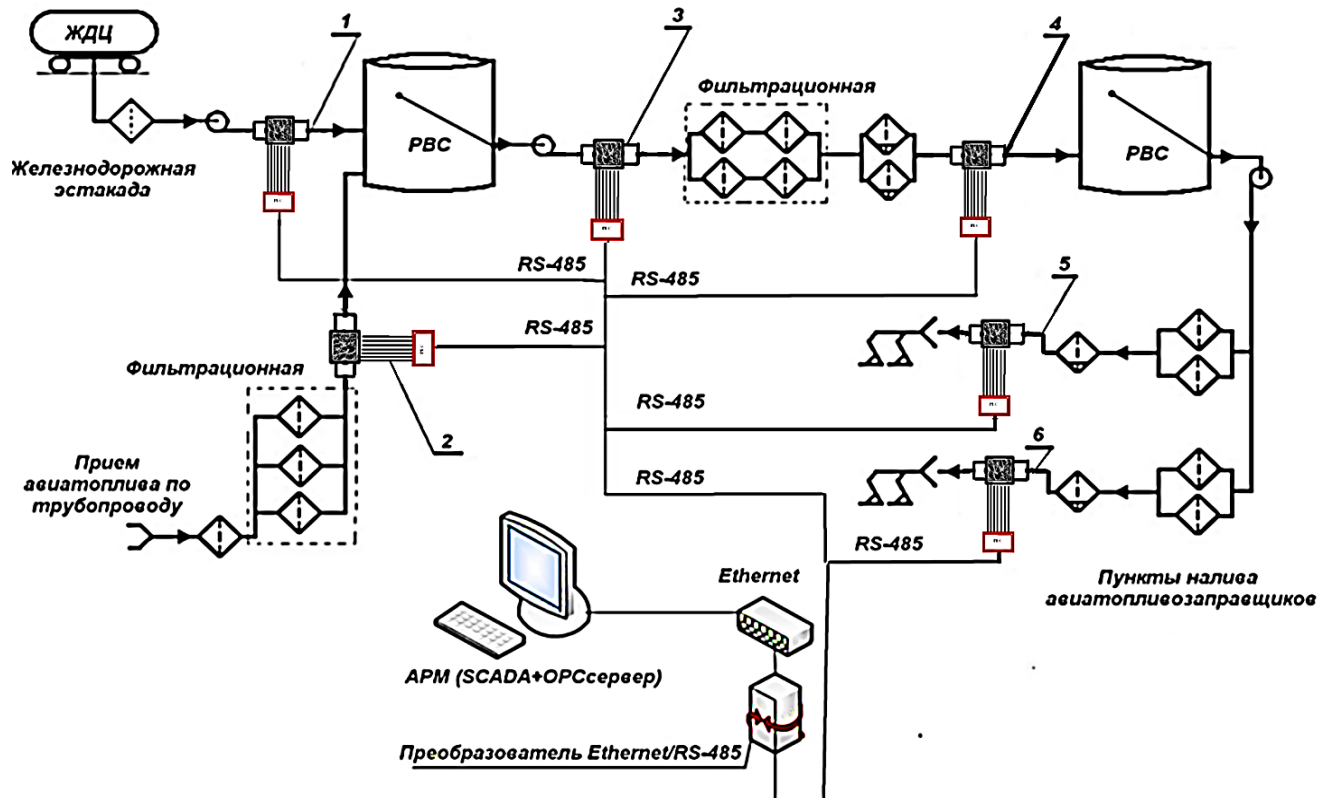


Рисунок 14 – Структурная схема установки системы контроля обводненности авиатоплива в технологической цепочке ТЗК: при приеме авиатоплива из ЖДЦ (1) и по трубопроводу (2); при внутри складских перекачках (3 и 4); при выдаче авиатоплива в средства заправки (5 и 6)

Применение автоматизации в системе непрерывного мониторинга обводненности авиатоплива позволяет осуществлять функции диспетчеризации и журналирования, что обеспечивает параметрическую регистрацию данных о контроле авиатоплива (самописец – аналог «черного ящика» на ВС). Такая информация может быть использована при расследовании инцидентов и происшествий, а также при решении возникающих коммерческих споров, при чем за любой промежуток времени деятельности организации авиатопливообеспечения.

Разработанная система мониторинга обводненности авиатоплива защищена патентами и наиболее актуальна, и эффективна при применении в условиях ТЗК с большим расходом авиатоплива и степенью автоматизации.

Применение автоматизированной системы контроля обводнения авиатоплива, обеспечит повышение качества управления процессами авиатопливообеспечения ВС, а интеграция и обмен данными в режиме реального времени со всеми системами АСУ ТП ТЗК, позволят принять своевременное решение о допуске авиатоплива к заправке в ВС, на основе реальных данных о его кондиционности.

В процессе функциональной деятельности ТЗК при осуществлении технологического процесса авиатопливообеспечения ВС имеет место движение авиатоплива, связанное с опорожнением и заполнением резервуаров при приеме и выдаче авиатоплива на заправку ВС. В

результате авиатопливо соприкасается с паровоздушной смесью (ПВС) и происходит два процесса: 1 – испарение авиатоплива и его унос, что приводит к его убыли, а значит экономическому ущербу организации; 2 – при соприкосновении с воздухом происходит его обводнение. Более подробно остановимся на испарении и уносе авиатоплива в результате так называемых «малых и больших дыханий резервуаров».

Выброс паров авиатоплива во время таких дыханий приводит не только к потерям авиатоплива и связанное с этим экономические потери, но при этом происходит унос ценных легких фракций, что ухудшает качество авиатоплива.

С целью разработки мероприятий по уменьшению потерь в процессе эксплуатации необходимо произвести их расчет.

Потери авиатоплива от испарения происходят при «малых и больших дыханиях» резервуаров. Величина потерь авиатоплива при «большом дыхании» резервуаров зависит от объема поступающего авиатоплива в резервуар и вытесненной тем самым ПВС, а также температуры ПВС и окружающей среды. При «малом дыхании» резервуара, когда авиатопливо находится в резервуаре без движения, потери зависят от колебания среднесуточной температуры воздуха. В обоих случаях потери зависят от физико-химических свойств авиатоплива.

Проведем расчет потерь при «большом дыхании» резервуара. Сущность метода расчета состоит в определении объема авиатоплива, поступающего в резервуар, замера температуры и объема концентрации ПВС, находящейся надтопливном пространстве и в определении выбросов из резервуара и расчета массы этих выбросов.

Суммарные потери авиатоплива определяем по выражению:

$$P_{БД} = V_{БД} \times C_{МСП} \times 10^{-3} \quad (5),$$

где: $V_{БД}$ – объем потерь паров углеводородов в резервуаре от «большого дыхания» за отчетный период, м³;

$C_{МСП}$ – средняя массовая концентрация паров углеводородов в выбросах ПВС за отчетный период, кг/м³ (определяется по периодическим результатам измерения за отчетный период).

Величина объема потерь паров углеводородов $V_{БД}$ при «большом дыхании» определяется:

$$V_{БД} = (V_2 - V_1 \frac{T_2 + T_1}{2T_1}) \quad (6),$$

где: V_1 – объем авиатоплива в приемном резервуаре до выполнения технологической операции его заполнения, м³;

V_2 – объем авиатоплива в приемном резервуаре после выполнения технологической операции его заполнения, м³;

T_2, T_1 – среднее арифметическое значение температуры газа пространства резервуара до и после выдоха большого дыхания, К.

Температуру переводим в К по выражению: $T(K) = (t(^{\circ}C) + 273,15)$, К.

Средняя массовая концентрация $C_{МСП}$ паров в выбросах ПВС определяется по выражению:

$$C_{МСП} = \frac{\sum C_m}{N} \quad (7),$$

где: C_m – массовая концентрация паров углеводородов в выходящей из резервуара ПВС, кг/м³;

N – число определений массовой концентрации паров углеводородов C_m в выбросах ПВС из резервуара за отчетный период.

Массовая концентрация C_m выходящей из резервуара ПВС определяется:

$$C_m = \frac{C_{ОБ} P_a M_{ПАР}}{R_0 T} \times 10^{-3} \quad (8),$$

где: $C_{ОБ}$ – объемная концентрация паров углеводородов в выходящей ПВС, об. доли;

R_0 – универсальная газовая постоянная, $R_0 = 8,3145 \frac{Дж}{моль \cdot К}$;

P_a – атмосферное давление, Па;

T – температура выходящей ПВС, К.

Объемная концентрация паров углеводородов $C_{ОБ}$ в выходящей ПВС определяется до и после дыхания и в трех точках измерения концентрации в выходящей ПВС,

Измерение концентрации паров осуществляется косвенным методом по концентрации кислорода в ПВС газоанализатором кислорода с последующим переводом объемной концентрации кислорода в объемную концентрацию паров углеводородов по формуле:

$$C_{CH} = (20,9 - C_{O_2})/0,209 \quad (9),$$

где: C_{CH} – объемная концентрация паров углеводородов, % об;

C_{O_2} – концентрации кислорода в ПВС, % об;

Температура ПВС T определяется в середине дыхания под кровлей резервуара или в патрубке замерного люка.

Атмосферное давление P_a принимается по результатам измерения или по данным метеосводки.

Молекулярная масса паров углеводородов $M_{ПАР}$ определяется по результатам хроматографического анализа паров или косвенным методом по температуре начала кипения углеводородов:

$$M_{ПАР} = 60 + 0,3(t_{нк} - 30) + 0,001(t_{нк} - 30)^2 \quad (10),$$

где: $t_{нк}$ – температура начала кипения углеводородов (для авиатоплива – 150 °С), °С.

Расчет потерь авиатоплива от «малых дыханий» резервуара также основан на расчетно-экспериментальном методе. Сущность его состоит в определении объема газового пространства в резервуаре, изменении объема концентрации паров углеводородов в выбросах ПВС, измерении температуры в начале и конце дыхания и расчете массы выбросов паров авиатоплива с учетом их физических свойств.

Исходя из температуры авиатоплива и климатических условий для данного периода времени года, суммарные потери $\Pi_{МД}$ при простое резервуара можно определить по выражению:

$$\Pi_{МД} = T_{ОПД}(V_{МД\text{СР}} \times C_{МСР})10^{-3} \quad (11),$$

где: $V_{МД\text{СР}}$ – среднесуточное значение объема выброса ПВС от «малого дыхания» из резервуара за отчетный период, м³/сут.;

$T_{ОПД}$ – количество дней простоя в течении отчетного периода, сут.

Среднесуточное значение объема выброса ПВС от «малого дыхания» из резервуара ($V_{МД\text{СР}}$) за отчетный период определяется по формуле:

$$V_{МД\text{СР}} = \frac{V_{ГП\text{СР}}T_2}{T_1} - V_{ГП\text{СР}} \quad (12),$$

где: $V_{ГП\text{СР}}$ – средний объем газового пространства резервуара (рассчитывается до целых значений исходя из среднего значения объема газового пространства резервуара в течение отчетного периода во время простоя резервуара), м²;

T_2, T_1 – температура газового пространства резервуара до и после «малого» дыхания (определяется исходя из среднестатистических данных по результатам периодических измерений за отчетный период), К.

Объем газового пространства резервуара $V_{ГП}$ вычисляется как разница его геометрического объема (паспортные данные на резервуар) и его объема, заполненного авиатопливом по результатам измерения уровня (по градуировочной таблице на резервуар).

Среднее значение объемной концентрации $C_{ОБ}$ паров авиатоплива в газовом пространстве резервуара определяется по результатам измерений объема концентрации паров углеводородов по высоте газового пространства в резервуаре.

Количественные значения фактических потерь авиакеросина по предложенной методике от испарения при «малых и больших дыханиях» резервуара с учетом периода времени представлены в таблице 4.

Исходными данными при расчетах послужили проводимые замеры на предприятии. С использованием полученных замеров была проведена качественная оценка потерь авиатоплива за указанный период (месяц).

Проведенные расчеты показывают, что потери авиатоплива являются достаточно существенными и требуется проведение мероприятий или конструктивных решений,

направленных на уменьшение потерь авиатоплива от испарения в процессе осуществления деятельности ТЗК.

Таблица 4. Результаты расчетов потерь от испарения авиатоплива

№ п-п	Наименование потерь	январь 2018 года	март 2018 года	август 2018 года
1	Потери от испарений из резервуаров хранения, тонн	3,353	5,539	9,857
2	Потери от испарений из расходных резервуаров при «больших дыханиях», тонн	0,957	1,280	2,718
ИТОГО, тонн		4,31	6,819	12,575

Удельные потери от испарения легких фракций авиатоплива в процессе хранения и их выбросов в окружающую среду оценивается примерно 1,1...1,5 кг на тонну продукта.

С целью уменьшения потерь в ТЗК применяют различные способы: тепловая защита резервуарного парка; конденсация паров; адсорбенты; плавающие крышки; наполнение резервуара инертным газом и т.д. Однако они имеют такой недостаток как односторонность защиты. Предлагаемые устройства достаточно сложны конструктивно и в основном нацелены на улавливание ПВС. Кроме того, при их установке в ТЗК потребуются доработка имеющегося резервуарного парка.

Анализ работы резервуаров при «больших и малых дыханиях» показывает, что для снижения обводненности авиатоплива и его потерь при уносе целесообразно производить «подготовку» (осушку) атмосферного воздуха до его подачи в резервуар. На рисунке 15 представлена схема дыхательной системы резервуара для уменьшения потерь авиатоплива при хранении и снижения его обводненности.

С целью уменьшения потерь авиатоплива от испарения и снижения степени обводненности авиатоплива в работе предложена дыхательная система, которая забирает воздух на определенном расстоянии от резервуара, осуществляет его очистку от влаги и подает в резервуар. В результате в резервуаре из осушенного воздуха создается так называемый «атмосферный зазор» между дыхательным клапаном и кольцевым воздухопроводом, на котором имеются специальные щели. Забор атмосферного воздуха производится через воздухопровод и пропускается через холодильник – конденсатор влаги.

Разработанная в работе дыхательная система монтируется на резервуаре 1 (рис. 15). В нижней части корпуса резервуара 1 установлены средства подачи и выдачи авиатоплива с помощью насосов 2 и 3. Насосы управляются с помощью блока управления 4.

На верхней куполообразной 5 части резервуара 1 устанавливается дыхательный клапан 6 (типа КДС2-1500/250). В зависимости от объема резервуара их можно устанавливать несколько. На представленной схеме (рис. 15) установлены два клапана. Дыхательный клапан предназначен для регулирования давления в надтопливном пространстве и обеспечения герметизации резервуара. Данный клапан может работать в режиме впуска воздуха (при выдаче авиатоплива) и выпуска ПВС (при заполнении резервуара), для чего к нему подведена система отвода ПВС и подвода атмосферного воздуха, выполненная в виде единого воздухопровода 8 (рис. 15). Воздуховод 8 состоит из двух обечаек 9 и 10, которые располагаются концентрично и образуют соответственно внутреннюю и внешнюю стенки воздухопровода. Для образования «атмосферного зазора» 17 дыхательный клапан 6 с внутренней обечайкой 9 устанавливают с зазором. Забор атмосферного воздуха 13 сообщается с полостью воздухопровода через фильтр – пылесборник 14 и холодильники – конденсаторы влаги воздуха 15 и ПВС 16. Для удаления отобранной из воздуха влаги воздухопровод 8 устанавливают с зазором по отношению купола 5, которая стекает по конусообразному скату.

В воздуховоде 7 устанавливают насос 18 для подачи или отвода воздуха. Управление насосом 18 производится из блока управления 4 (PLC) с одновременным включением насоса 2 при подаче авиатоплива или насоса 3 при выдаче авиатоплива.

Атмосферный воздух через средство забора 13 по кольцевому воздухопроводу 8 поступает в холодильник – конденсатор 15, где происходит его «осушка». Конденсат отводится в цистерну

19 для сбора влаги, а воздух далее через «атмосферный зазор» 17 поступает к дыхательному клапану 6 и далее в резервуар 1.

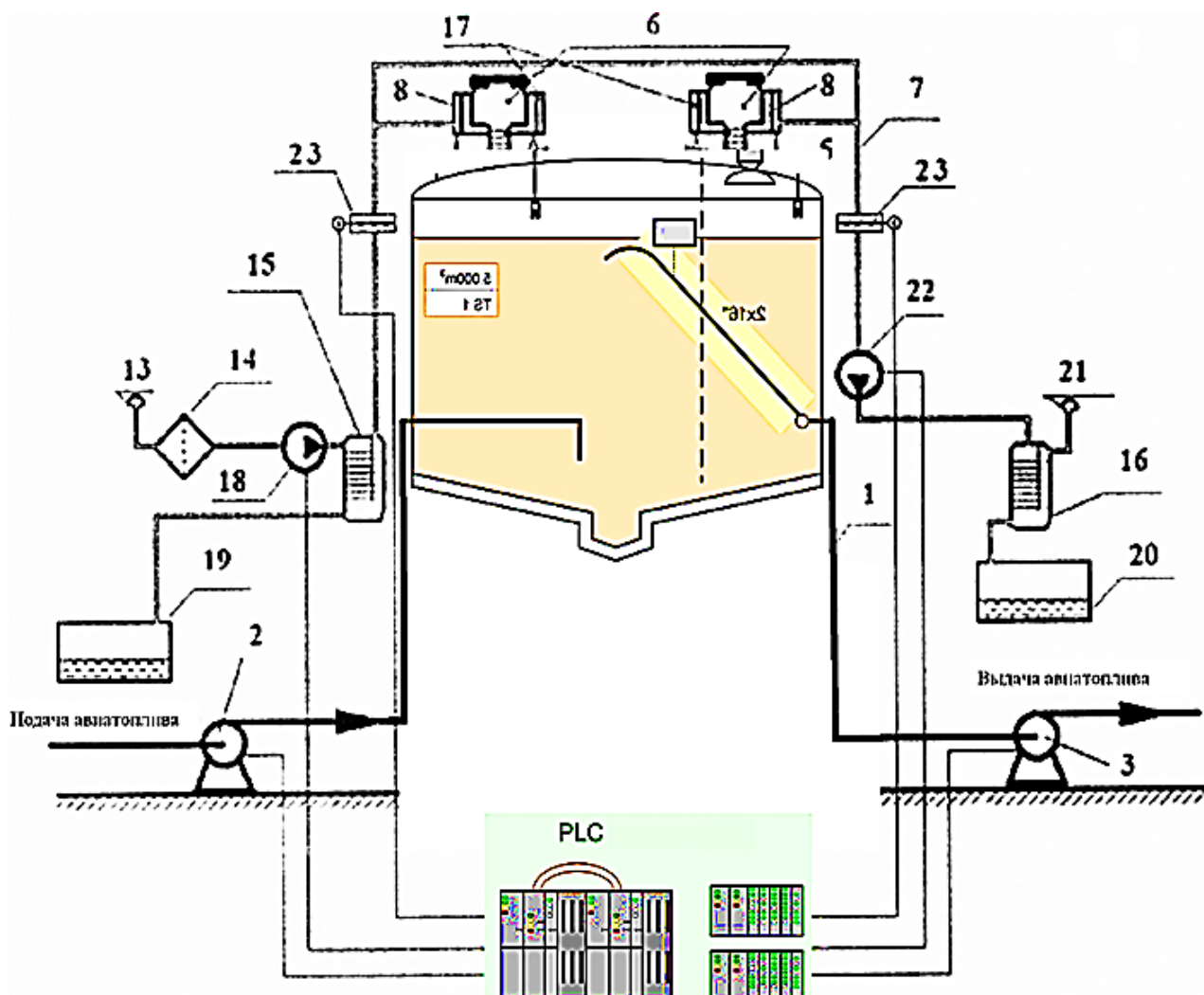


Рисунок 15 – Схема дыхательной системы резервуара: 1 – резервуар; 2 и 3 – насосы; 4 – блок управления; 5 – купол; 6 – дыхательный клапан; 7 – воздуховод; 8 – кольцевой воздуховод; 9 – внутренняя обечайка; 10 – наружная обечайка; 11 – щели; 12 – кольцевая полость; 13 – забор атмосферного воздуха; 14 – фильтр-пылесборник; 15 и 16 – холодильник-конденсатор; 17 – «атмосферный зазор»; 18 – подающий насос; 19 – цистерна сбора атмосферной влаги; 20 – цистерна для конденсата паров; 21 – трубка; 22 – откачивающий воздушный насос; 23 – электропривод заслонки; 24 – основание

Предлагаемая система подготовки воздуха будет работать следующим образом (рис. 15). При выдаче авиатоплива по команде блока управления 4 включается насос 3 и одновременно нагнетающий воздух насос 18, происходит забор воздуха, который очищается от пыли за счет прохода через фильтр – пылесборник 14, а в холодильнике – конденсаторе 14 происходит его сушка от влаги. Далее воздух поступает в кольцевую полость 12 воздуховода 9 и через специальные щели по обечайке через дыхательный клапан 6 в резервуар 1. С целью компенсации возможных потерь разработанная система производит нагнетание воздуха с некоторым избытком до 10 %. Так как при выдаче авиатоплива, или наполнении резервуара, в резервуаре работают сообщающиеся объемы авиатопливо – ПВС, то необходимый расход воздуха определяется на основании показаний расходомеров, установленных на насосе 2 или 3 соответственно.

При заполнении резервуара авиатопливом система будет работать следующим образом. По команде блока управления 4 происходит включение насоса 2 и одновременно отсасывающего

насоса 22. Авиатопливо начинает поступать в резервуар 1 и вытеснять ПВС. Вытесненная ПВС через дыхательный клапан 6 попадает в полость «атмосферного зазора» 17 и далее через специальные щели 11 в по обечайке 9 в воздуховод 8. Откачивающийся насос 22 засасывает ПВС в полость 12 и далее по воздуховоду 7 направляет в холодильник – конденсатор 16, в котором происходит конденсация ПВС. Образовавшийся из ПВС конденсат поступает в цистерну 20, а очищенный от легких фракций авиатоплива воздуха через трубку 21 отводится в атмосферу.

Предлагаемая дыхательная система позволяет решить вопросы: снижения степени обводненности авиатоплива в процессе «малых и больших дыханий» резервуара; сократить потери авиатоплива при его испарении в процессе хранения; снизить степень загрязнения окружающей среды. Уменьшение степени обводненности авиатоплива и исключение испарения его легких фракций позволяет сохранить как качественный, так и количественный его состав. Применение разработанной системы в ТЗК снижает риск пожаровзрывобезопасности объектов ОАТО за счет уменьшения вредных выбросов.

Заключение

В результате проведенного исследования научно обосновано технологическое и техническое решение мониторинга количества воды в авиатопливе, с применением автоматизированной системы, позволяющее с высокой степенью точности проводить контроль воды во всем объеме авиатоплива и обеспечивающее повышение безопасности полетов ВС. Получены следующие результаты исследования:

1. Проведен анализ существующих методов контроля наличия воды в авиатопливе и технологий очистки от свободной воды в процессе выполнения авиатопливообеспечения ВС, на основании которых установлена необходимость разработка и внедрение системы непрерывного автоматического мониторинга воды в авиатопливе, а также ее удаления.

2. Установлено влияние параметров обводненности авиатоплива на ресурс фильтроэлементов.

3. Разработана математическая модель предотвращения при предперонной заправке воздушного судна не кондиционным авиатопливом. Применение предлагаемой математической модели процесса работы фильтроэлемента в поле допусков, позволяет сформировать цифровым котроллером «барьерный» сигнал на прекращение выдачи авиатоплива или заправки им ВС, что позволит повысить вероятность непопадания воды вместе с авиатопливом в топливные баки ВС.

4. Проведен расчет потерь авиатоплива в процессе деятельности организации ОАТО при «больших и малых дыханиях» резервуаров, что позволяет принимать решение по сокращению естественной убыли авиатоплива.

5. Разработана дыхательная система, позволяющая снизить степень обводненности авиатоплива, его убыль в процессе деятельности ТЗК, а также снизить количество вредных выбросов в окружающую среду.

6. Теоретически обосновано и разработано устройство определения фактического содержания свободной воды в авиатопливе в реальном режиме времени.

7. На основании разработанного устройства определения обводненности авиатоплива предложен способ непрерывного контроля количества воды в авиатопливе и в зависимости от степени его обводненности в автоматическом режиме выбрать алгоритм и стратегию, процессов авиатопливообеспечения, использовать правильное сочетание времени отстаивания, тонкости и ступенчатости фильтрации.

Полученные результаты позволяют проводить дальнейшее совершенствование системы подготовки и контроля авиатоплива в ОАТО при осуществлении технологического процесса авиатопливообеспечения ВС.

Список публикаций автора по теме диссертации включает 6 научных статей (49 с), 3 из которых опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России (33 с) (по транспорту), а также в 4 патентах: патент №122491 опубликовано от 27.11. 2012 г., патент №2502069 опубликовано от 20.12. 2013 г., патент № 141654 опубликовано от 26.08. 2015 г., патент № 2563813 опубликован от 29.05.2017.

Научные публикации в рецензируемых научных изданиях, (по транспорту) рекомендованных ВАК при Министерстве образования и науки РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций:

1. Дружинин, Н. А. Устройство непрерывного мониторинга чистоты авиатоплива в технологической схеме топливообеспечения воздушных судов / Н. А. Дружинин, А. А. Браилко, В. М. Самойленко // Научный вестник МГТУ ГА. – М.: МГТУ ГА, Том 20, № 06, 2017, стр. 44...53.

2. Дружинин, Н.А. Цифровые технологии – база цифровой экономики топливозаправочных комплексов аэропортов гражданской авиации / Н. А. Дружинин, А. А. Браилко, О. В. Громов // Научный вестник МГТУ ГА. – М.: МГТУ ГА, Том 23, №04, 2020, стр. 20...32.

3. Дружинин, Н.А. Адаптивная информационно-управляющая система динамического мониторинга фактической обводненности авиатоплива в технологических процессах авиатопливообеспечения / Н. А. Дружинин, А. А. Браилко, В. М. Самойленко, Л. А. Дружинин // Научный вестник МГТУ ГА. – М.: МГТУ ГА, Том 25, № 2, 2022, стр. 20...29.

Патенты на изобретения и полезные модели, приравненные к публикациям основных научных результатов диссертации (4):

1. Патент ПМ №122491 РФ, МПК G01N 35/08, G01N 33/22 «Устройство для определения содержания воды в углеводородном топливе или в воздухе» /А.А. Браилко, Дружинин Н.А. Смутьский А.В./ Опубликовано от 27.11. 2012 г.

2. Патент №2502069 г., РФ, МПК G01N 33/22, B01D 25/00 «Способ определения содержания воды в углеводородном топливе и устройство для его осуществления» А.А. Браилко, Дружинин Н.А. Смутьский А.В. Опубликовано от 20.12. 2013 г. 3. Патент ПМ №141654, РФ, МПК G01N 33/22, B01D 25/00. «Устройство контроля содержания механических примесей в жидкости и система мониторинга содержания механических примесей в потоке жидкости». /Браилко А.А. и др. (5 соавторов). Опубликовано от 30.04. 2014 г.

4. Патент RU №2563813, РФ, МПК G01N 33/22 «Способ контроля содержания механических примесей в жидкостей, для его осуществления и система мониторинга содержания механических примесей в потоке жидкости». Браилко А.А. Дружинин Н.А. (7 соавторов), Опубликовано от 26.08.2015.

Научные публикации в других изданиях (3):

1. Дружинин, Н. А. Особенности строительства объектов ТЗК в аэропорту Внуково. / Н. А. Дружинин, С. Б. Васильев, А. А. Браилко, / Научно-публицистический журнал «Информационный сборник». – М.: Ассоциация ОАТО ВС ГА, Информационный сборник №7, 2012 г, стр. 34-39.

2. Дружинин, Н. А. Проблемы поставки топлива по НПП «Кольцевой нефтепродуктопровод вокруг города Москвы». / С. Б. Васильев, А. А. Браилко / Научно-публицистический журнал «Информационный сборник». – М.: Ассоциация ОАТО ВС ГА, «Информационный сборник» №8, 2013 г, стр.34...39.

3. Дружинин, Н. А. На крыльях времени. / Н. А. Дружинин, С. Б. Васильев, А. А. Браилко / Научно-публицистический журнал «Информационный сборник». – М.: Ассоциация ОАТО ВС ГА, «Информационный сборник» №9, 2014 г, стр.56...59.

Соискатель



Дружинин Н. А.